ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES OF AGRO - ENGINEERING SYSTEMS



УДК 631.31:681.2.083:631.421 DOI 10.12737/22165

Использование метода подачи воздуха под давлением в почву для определения силы сопротивления проникновению при различной влажности*

И. Р. Антибас[1], А. Г. Дьяченко[2]**

[1, 2]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Using the technique of air injection into soil to determine penetration resistance force at different humidity ***

I. R. Antypas[1], A. G. Dyachenko[2]**

[1, 2]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Целью данной работы является установление зависимости между такими параметрами почвы, как влажность (ВП), сила сопротивления проникновению (ЕК) и время сброса сжатого воздуха. При проведении исследований решались следующие задачи: выявление влияния влажности на воздухопроницаемость различных видов почв; установление зависимости между силой сопротивления почвы проникновению и воздухопроницаемостью исследуемых видов почв; наработка опыта применения пенетрометра для измерения силы сопротивления проникновению различных видов почв. Доказано наличие связи между влажностью и силой сопротивления почвы проникновению. При этом наибольший коэффициент корреляции отмечен у известняка, наименьший — у глинозема и суглинка. Определена взаимосвязь между содержанием пор, заполненных воздухом, и воздухопроницаемостью почвы. Количество пор, заполненных воздухом (Y), увеличивается при снижении количества пор, заполненных водой. При этом время сброса сжатого воздуха (x) уменьшается по амплитуде натурального логарифма: $Y = a\ln(x) + b$.

Ключевые слова: влажность почвы, сила сопротивления почвы проникновению, воздухопроницаемость, сопротивление сдавливанию, почвы, содержание пор, заполненных воздухом.

The work objective is to establish the relationship of such soil parameters as soil moisture (SM), penetration resistance force (PRF), and time of the compressed air release. During the investigation, the following tasks are solved: identifying the impact of humidity on the air permeability of various types of soil; establishing the relationship between the soil PRF and the air permeability of the soil types under study; gain in experience of using a penetrometer for measuring the penetration resistance force of different types of soils. The connectivity between humidity and soil penetration resistance force is proved. At that, the highest correlation coefficient is observed in limestone, and the lowest – in alumina and sandy loam. The relationship between the content of pores filled with air, and the air permeability of the soil is determined. The number of pores filled with air (Y) increases with the decreasing of the number of pores filled with water. Whereas the compressed air release time (x) decreases over the natural logarithm amplitude: $Y = a\ln(x) + b$.

Keywords: soil moisture, soil penetration resistance force, air permeability, resistance to compression, content of pores filled with air.

Введение. Когерентность почвенных частиц значительно ограничивает распространение корней растений — как в поверхностном слое, так и в подпахотном горизонте. Механическая прочность связей между компонентами почвы является одним из важнейших факторов, влияющих на рост корней и на движение воды в почве. Кроме того, оказывается существенное влияние на физические свойства почвы, учитываемые при сельскохозяйственных работах: плотность, содержание влаги, структурный состав почвы, стабильность почвенных агрегатов и сил сцепления и др. [1].

Сопротивление почвы проникновению зависит от таких факторов, как: структурный состав почвы, ее плотность, содержание органических веществ, глины и влаги [2, 3]. Кроме того, имеют значение методы обработки почвы (в частности, применяемая техника), распространение корней, тип возделываемых культур, а также гранулометрический состав [4].

Доказано, что сила сопротивления почвы проникновению корней и различных почвообрабатывающих орудий увеличивается с уменьшением содержания в ней влаги. Экспериментальные исследования [5] показали, что сила со-

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E-mail: imad.antypas@mail.ru, Dyachenko_aleshka@bk.ru

***The research is done within the frame of the independent R&D.

противления почвы проникновению будет более заметна в том случае, когда ее влажность понижается до 70 % от общей влагоемкости почвы.

С другой стороны, обнаружено, что в связи с изменяющимся содержанием влаги в почве (в зависимости от места и времени), представляется весьма затруднительным объяснить степень ее уплотнения. Кроме того, интерпретация самих результатов исследования также представляет собой известную сложность. Поскольку влажность и плотность не замеряют в одном и том же месте и в то же самое время, сопротивляемость почвы проникновению будет разной.

Цель и задачи исследования. В рамках данной работы изучено влияние влажности почвы (ВП) на сопротивление проникновению (ЕК) и сжатие. Использовался метод сброса сжатого воздуха в различных типах почв. Выявлялись связи между количеством воздушных пор и временем сброса сжатого воздуха в почвах с различными характеристиками. Опыты проводились на специализированных полях и в лабораториях университета г. Алеппо Сирийской Арабской Республики.

Образцы отбирали в полиэтиленовые цилиндры диаметром 7 см и высотой 15 см.

Пробы брали в различных видах почв с глубины 0–30 см и 30–60 см. Для оценки сопротивления проникновению пробы почвы брали при трех уровнях влажности:
— 1-й ($L1$) — содержание влаги до достижения точки полевой влагоемкости;
— 2-й ($L2$) — после недели полива;
— 3-й ($L3$) — после двух недель полива.

Было измерено время сброса сжатого воздуха в почве на двух глубинах при разных уровнях влажности $L1$, $L2$ и $L3$. Для этого использовался зонд с конусной насадкой (главный угол конуса — 30^0, радиус основания конуса — 7 мм, давление нажатия — 6 бар) [6].

Все измерения по определению сопротивления почвы проникновению проводились с использованием пенетрометра в специализированной лаборатории.

Образцы, отобранные на вспаханных почвах, просеивали ситами с диаметром ячеек 2 мм. Затем оценивали влажность почвы, нагревая в сушильной камере при 105 ^{0}C до постоянного веса. Дисперсность почвы оценивали по стандартной методике, разделяя основные компоненты с помощью гидрометра [7]. Для оценки процентного содержания карбоната кальция в почве ($CaCO_3$) использовался кальциметр. Кроме того, при помощи ацетона методом осаждения определялось содержание гипса в известняке [8]. Общее содержание органических веществ оценивалось методом быстрой калибровки после окисления бихроматом калия ($K_2Cr_2O_7$), проведенного способом мокрого окисления [9].

В табл. 1 представлены результаты по кислотности (pH), электропроводности и плотности почвы (определена вдавливанием цилиндров согласно методике, приведенной в [7]). В опытах использовались алюминиевые цилиндры диаметром 5 см и длиной 5 см.

Таблица 1

Механический состав и физико-химические свойства почв

Тип почвы	Глинозем		Известняк		Суглинок	
Глубина, см	0–30	30–60	0–30	30–60	0–30	30–60
Глина, %	58,66	59,72	34,89	32,19	25,55	22,24
Ил, %	21,23	16,56	31,65	33,54	38,15	39,25
Тонкий песок, %	14,25	20,50	11,22	12,01	14,64	13,44
Грубый песок, %	5,86	3,22	22,24	22,26	21,66	25,07
Влага, %	9,1	8,8	4,3	4,2	7,4	10,2
Плотность почвы, г/см^3	0,92	1,39	1,10	1,36	1,15	1,49
Плотность твердой фазы, г/см^3	2,68	2,64	2,71	2,57	2,61	2,58
Пустоты в общем объеме почвы при ПВ, %	65,67	47,35	59,41	47,08	55,94	42,25
$CaCO_3$, %	6,30	4,80	23,60	17,64	4,31	3,52
Гипс, %	–	–	4,21	6,33	18,62	39,68
Органические вещества, %	0,51	0,39	031	0,15	0,21	0,11
Удельная электропроводность, См/м	0,56	0,49	7,90	1,22	1,80	2,21
Кислотность (pH)	7,69	7,65	8,17	8,10	8,12	7,51

Взятые с одних и тех же глубин образцы были изучены и оценена их плотность. Общая пористость определялась по формуле [10]:

$$f = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) \times 100, \quad (1)$$

где ρ_b — плотность почвы, г/см^3; ρ_r — плотность твердой фазы почвы, г/см^3.

Производилась оценка объема воздуха V_a по отношениям:

$$V_a = V_v - V_w, \quad (2)$$

$$A_v = V_a / V_v \times 100, \quad (3)$$

где: V_a — объем воздушного пространства; V_v — общий объем почвы; V_w — объем пор, заполненных водой; A_v — объем воздуха к общему объему.

Содержание влаги — один из наиболее важных факторов, определяющих сцепление агрегатов почвы. В табл. 2 показано содержание влаги в глиноземе, известняке и суглинке.

Таблица 2

Содержание влаги в почве исследованных образцов, взятых при трех уровнях полива

Тип почвы	Глубина, см	Влажность почвы, %		
		$L1$	$L2$	$L3$
		Полевая влагоемкость	После одной недели полива	После двух недель полива
Глинозем	0–30	65,82	42,31	33,23
	30–60	45,64	36,04	27,25
Известняк	0–30	36,21	31,41	26,54
	30–60	32,18	27,08	23,22
Суглинок	0–30	37,01	28,83	20,04
	30–60	25,53	19,23	15,85

Известно, что при насыщении почвы влагой со временем происходит ее переувлажнение до степени пластичности. Этот уровень, на котором предел пластичности представляет собой предел разрушаемости почвенной структуры, делает почву гиперчувствительной к сжимаемости и ухудшает ее структуру. Далее плотность почвы увеличивается, что играет важную роль при определении влажности. По соотношению крупных пор к мелким было найдено значение пористости почвенного образца.

В табл. 3 показаны:

— объемы воздушного пространства V_a при уровнях влажности $L1$, $L2$, $L3$;

— содержание воздуха в порах поверхностного слоя почвы по сравнению с подповерхностным в глиноземе.

Таблица 3

Процент содержания воздушных пор в почве при различных уровнях увлажнения

Тип почвы	Глубина, см	Содержание пор, заполненных воздухом, A_v		
		Полевая влагоемкость ($L1$)	После одной недели полива ($L2$)	После двух недель полива ($L3$)
Глинозем	0–30	5,12	26,74	35,10
	30–60	0	0	9,47
Известняк	0–30	19,58	24,86	30,22
	30–60	3 ,31	10,25	20,94
Суглинок	0–30	13,38	22,79	32,89
	30–60	4,21	13,60	19,04

Кроме того, отмечено, что плотность почвы увеличивается с увеличением процентного содержания глины. Об этом свидетельствуют и данные табл. 1, где показаны некоторые механические, физические и химические свойства исследуемых типов почв. В поверхностном и подповерхностном слое процент глины составляет: в глиноземе >58%, в суглинке < 35%, в известняке <30%.

Устойчивость к проникновению на трех уровнях влажности ($L1$, $L2$, $L3$) определялась содержанием влаги (ВП) в глиноземе (см. табл. 2). Так, в его поверхностном слое уровень влажности достигал 65,82 %. После двух недель орошения содержание влаги в образце понижалась до 33,23 %, что составило около 50 % от общей влажности.

При исследовании известняка было выяснено, что после двух недель орошения поверхностный слой потерял около 70 % влаги. Следовательно, влага лучше сохраняется в глиноземе. Это логично, т. к. почва с высоким содержанием глины является более влагонасыщенной, чем известковая. В другом случае выяснилось, что глинозем теряет около 54 % своей влаги, даже если он не содержит большого количества глины [11, 12].

На рис. 1, 2 и 3 показана устойчивость почвы к проникновению для трех видов почв (глинозем, известняк и суглинок) при трех уровнях увлажнения ($L1$, $L2$, $L3$). Эти данные прямо указывают, что в любой почве сопротивление проникновению уменьшается с повышением влажности, и сила сопротивления проникновению в подпочвенном слое больше, чем в поверхностном.

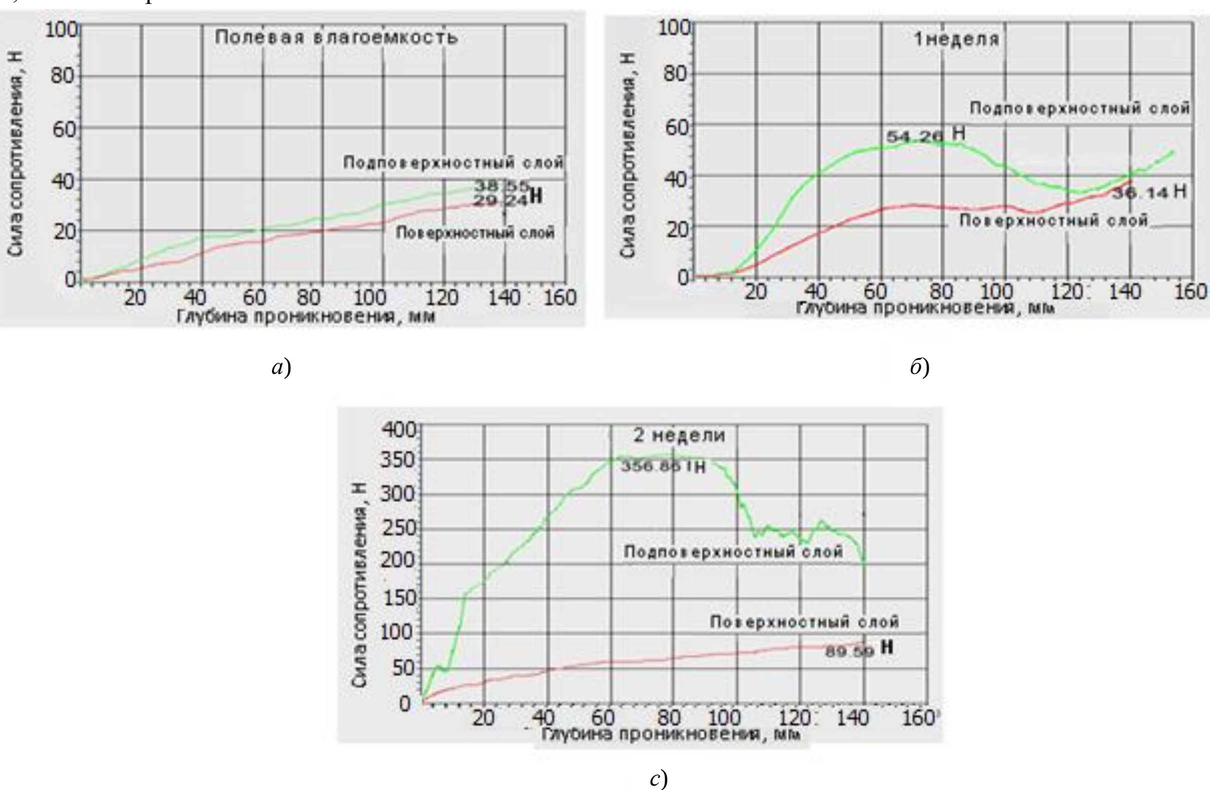


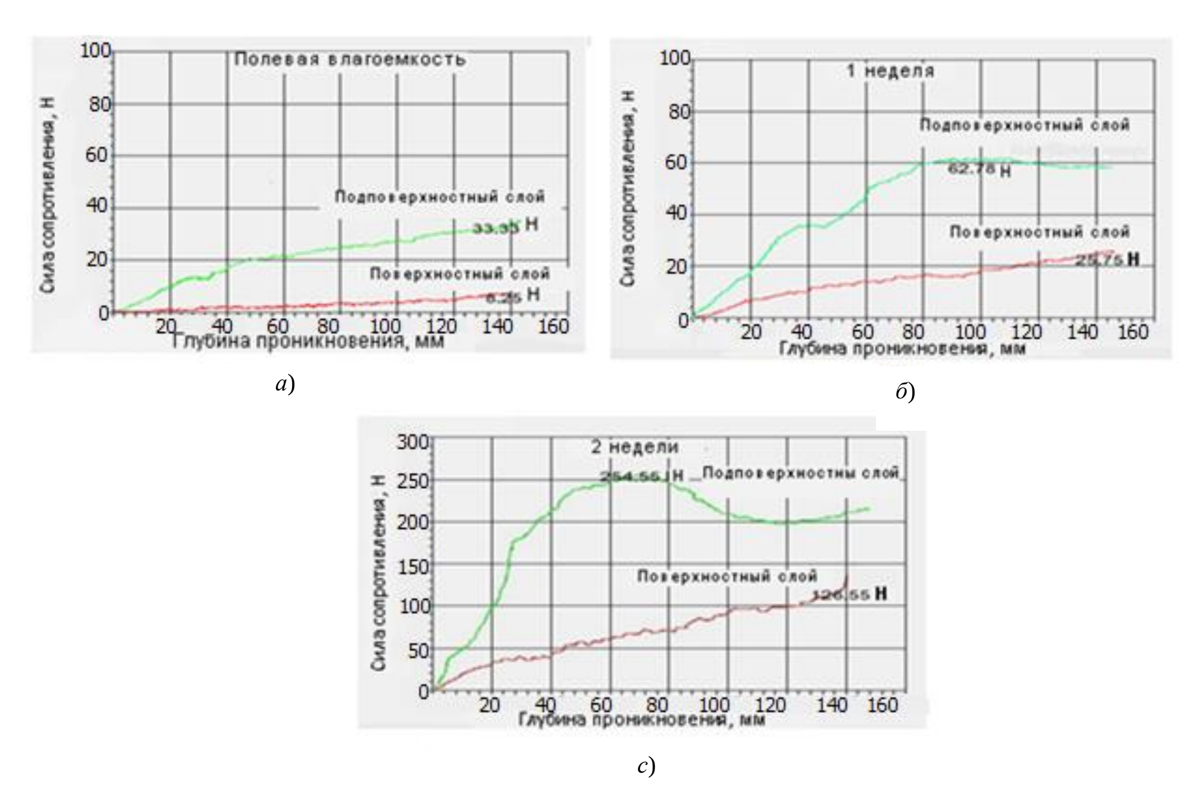
Рис. 1. Влияние влажности на силу сопротивления проникновению в глино-зём:
а) полевая влагоемкость; б) первая неделя; с) вторая неделя.

Рассмотрим случай, когда частицы почвы в подповерхностном слое склеиваются и уплотняются. Обычно это происходит при прохождении сельскохозяйственной техники. Существенное уплотнение почвы приводит к значительной перестройке ее структуры: повышаются значения объемной плотности, уменьшается содержание воды и газообмен с окружающей средой. При этом сопротивляемость почвы проникновению увеличивается.

Из рис. 1 видно, что сопротивление глинозема проникновению при влажности $L1$ увеличилось до 38,55 Н; при $L2$ (после недели орошения) — до 54,26 Н; при $L3$ (после двухнедельного орошения) — до 356,86 Н. Это означает, что устойчивость почвы к проникновению увеличилась примерно в 7 раз при уменьшении ее весовой влажности с 36,04 % (при $L2$) до 27,25 % (при $L3$) (см. табл. 2). Показательно, что силы связи между частицами глинозема в подповерхностном слое оказались выше, чем в поверхностном. При этом в глиноземе увеличилась пластичность мелкодисперсной структуры глины. Такая пластичность определяет следующие параметры почвы: связанность, набухание и усадка. На пластичность глинозема существенное влияние оказывает тип преобладающих в нем обменных катионов. Особенно, когда содержание глины к общему объему почвы составляет 2:1 (см. табл. 1).

Это можно проследить на примере состояния структуры глинозема в поверхностном и подповерхностном слое. Было выяснено, что поверхностный слой имеет лучшую структуру за счет увлажнения почвы. Образующиеся почвенные структуры играют значительную роль в увеличении доли пор. Этим объясняется и отсутствие случаев усадки почвы, которые имелись в подповерхностном слое. В табл. 1 представлены данные о состоянии поверхностного слоя глинозема, значение плотности в котором составляет 0,92 г/см^3, а общая пористость — 65,67 %.

Из данных графиков следует, что устойчивость почвы проникновению увеличивается не более чем в 3 раза при переходе от одного уровня влажности ($L1$) к другому ($L3$). При этом на графике сопротивления проникновению для известняковых почв (рис. 2) видно примерно 4–5-кратное увеличение устойчивости проникновению от поверхностного слоя в подповерхностный и от одного уровня влажности ($L2$) к другому ($L3$).

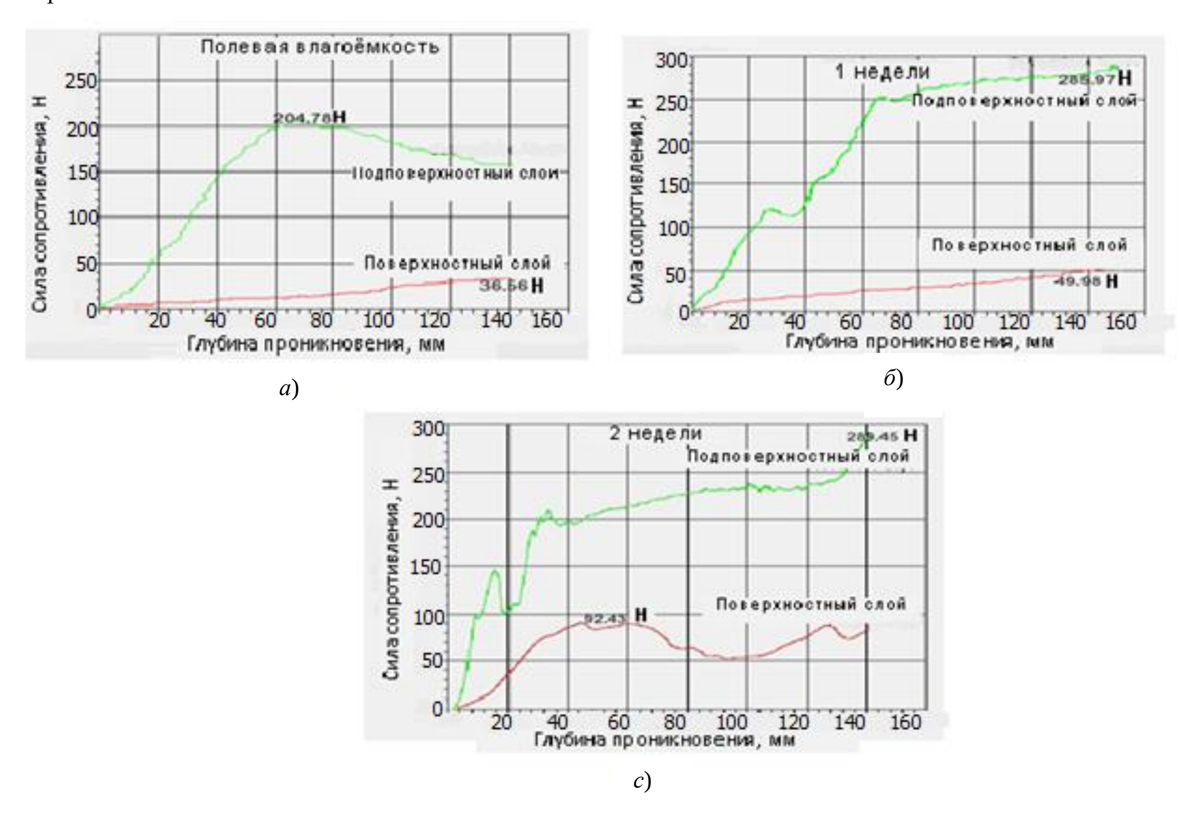


а) б) с)

Рис. 2. Влияние влажности на силу сопротивления проникновению в известняк:
а) полевая влагоемкость; б) первая неделя; с) вторая неделя.

При понижении содержания глины (<35 %) высокую устойчивость проникновению можно объяснить значительным содержанием в почве карбоната кальция ($CaCO3$). В поверхностном слое почвы оно достигало 23,6 %, а в подповерхностном — 17,64 %. Это означает, что наличие карбоната кальция способствует проникновению в почву корневой системы растений или сельскохозяйственных орудий, особенно при низких уровнях влажности и в случаях, когда почвенные слои упрочняются и на поверхности карбонатных почв появляется твердая корка.

На рис. 3 показано влияние влажности и содержания неорганических компонентов на силу сопротивляемости суглинка проникновению.



а) б) с)

Рис. 3. Влияние влажности на силу сопротивления проникновению в сугли-нок:
а) полевая влагоемкость; б) первая неделя; с) вторая неделя.

Из графиков видно, что в подповерхностном слое почвы содержание влаги не оказывает никакого влияния на силу сопротивляемости проникновению, потому что содержание гипса в почве было 39,68 % (см. табл. 1). Это объясняется тем, что гипс в почве находится в виде каменистой структуры. В поверхностном слое содержание гипса доходило до 18,62 %. Здесь гипс имеет более мягкую порошковую структуру и перемешан с частицами почвы. Сила сопротивляемости проникновению оказалась выше 20 Н при всех уровнях влажности. Это подтверждают данные рис. 4, где также показана взаимосвязь между устойчивостью к проникновению и содержанием взвешенной влаги (% ВП) в известняке. Коэффициент корреляции для суглинка (гипсовая почва) уменьшался до $R^2 = 0{,}76$; для известняка (кальциевая почва) увеличивался до $R^2 = 0{,}95$; для глинозема в среднем составил $R^2 = 0{,}78$. Это происходит, вероятно, из-за того, что подповерхностные слои сжаты значительно сильнее, чем поверхностные.

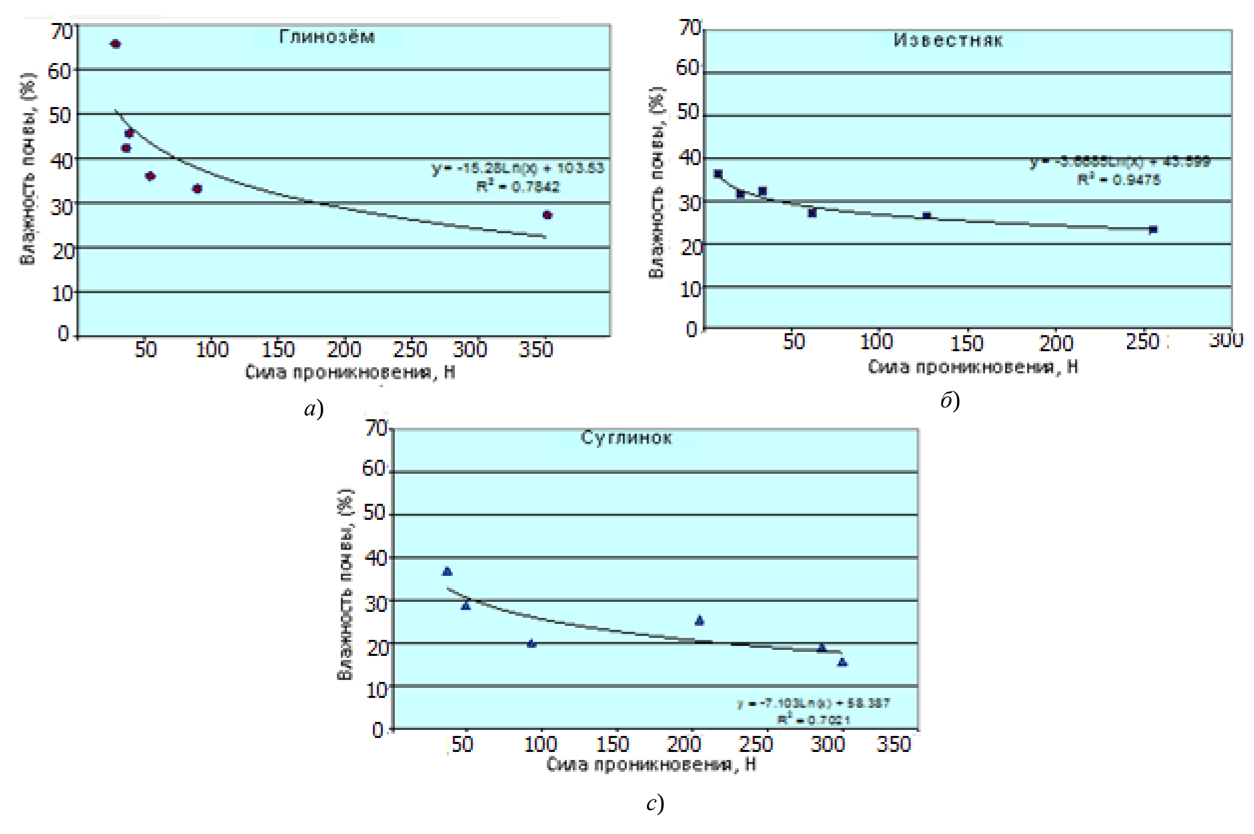


Рис. 4. Зависимость между сопротивлением проникновению (Н) и со-держанием влаги (%):

а) глинозёма; б) суглинка; с) известняка.

На рис. 4 показано, что зависимость между силой сопротивления проникновению и влажностью почвы является относительной и согласуется с выводами многих исследователей [1, 6, 7]. При этом увеличение сопротивления проникновению можно определить:

— для глинозема: $Y_в = -15{,}26\ln 9(x_в) + 103{,}53$; (4)

— для известняка: $Y_в = -3{,}66\ln(x_в) + 43{,}59$; (5)

— для суглинка: $Y_в = -7{,}1\ln 9(x_в) + 58{,}38$. (6)

Здесь $Y_в$ — содержание влаги в %; $x_в$ — устойчивость почвы проникновению в Н.

Грунтовые воды постоянно подпитывают почву, при этом содержание влаги в определенном месте с течением времени меняется. Это объясняет некоторую сложность увязывания результатов, полученных при измерении сопротивляемости почвы проникновению и ее влажности.

В этой связи обращает на себя внимание метод исследования сжатым воздухом [3], предназначенный для выяснения содержания влаги в почве и размеров пор, заполненных воздухом. Использование данного метода позволяет установить, что вода в порах представляет собой несжимаемую жидкость, а воздух вытесняется в том месте, где были взяты образцы почвы для оценки содержания влаги. Предполагаемый процент пор, заполненных воздухом, определяется по следующему отношению [12]:

$$A_v = \frac{V_a}{V_v}100\% = \frac{(V_v - V_w)}{V_v}100\% , \quad (7)$$

где A_v — объем воздуха к общему объему; V_a — объем воздушного пространства; V_w — объем пор, заполненных водой; V_v — объем пустот в почве.

При уровнях влажности *L*1 и *L*2 (см. табл. 3) отмечается отсутствие воздушных пустот в почве. Данный результат согласуется со свойствами глинозема, который показал высокую степень сжимаемости. В дополнение следует отметить, что при данных уровнях увлажнения происходит процесс набухания почвы. Поскольку поры увеличиваются в объеме, то возникает переувлажненность почвы, которая понижает значения V_a .

Измерения показали, что доля пор воздуха уменьшалась в точке влагоемкости в поверхностном слое до 7,79 %, в то время как после двухнедельного орошения этот показатель увеличивается примерно до 53,45 %. Это объясняется зернистостью поверхностного слоя.

В поверхностном слое количество пор, заполненных воздухом, составляет 20,01 %. Это не больше, чем при влажности третьего уровня (*L*3).

На рис. 5 графически представлена взаимосвязь между временем сброса сжатого воздуха и содержанием воздушных пор.

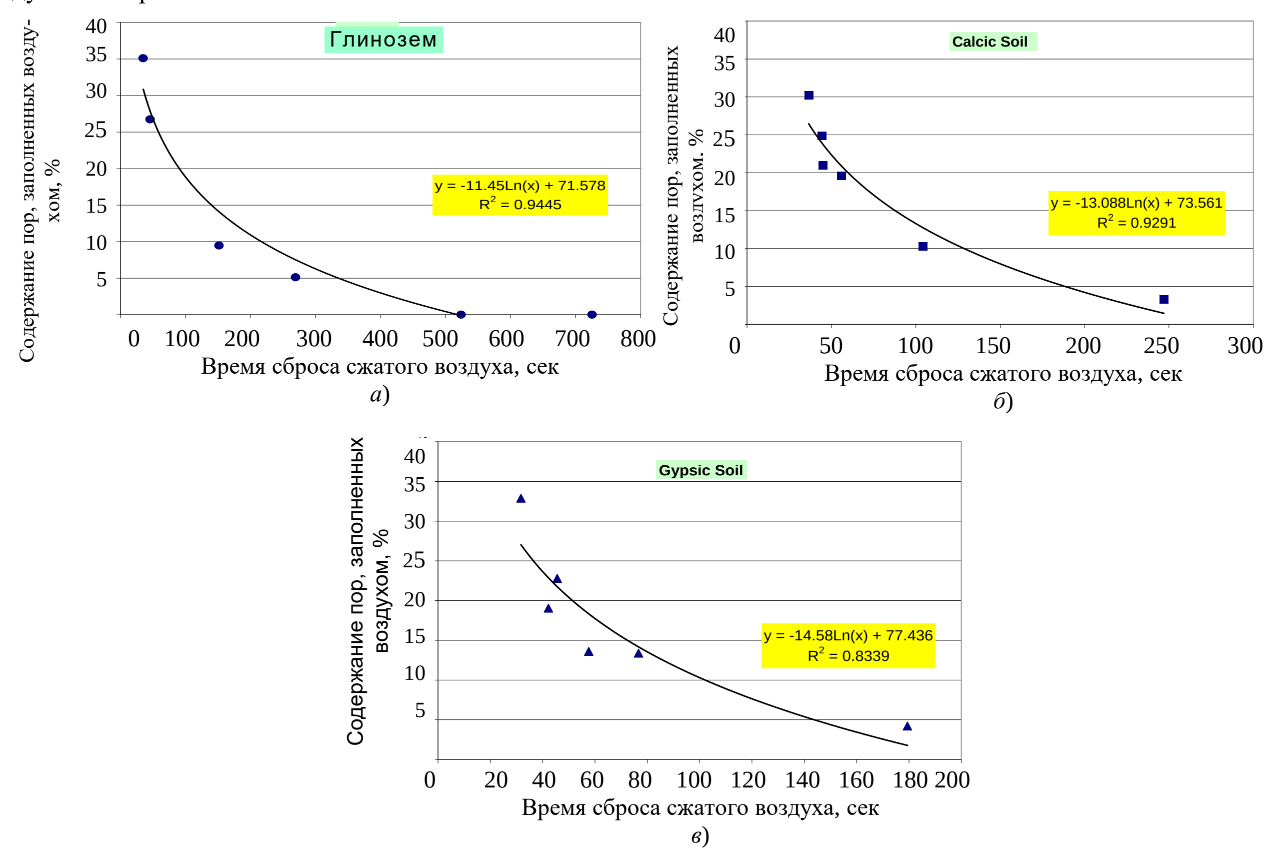


Рис. 5. Зависимость между временем сброса сжатого воздуха и процентом пор, заполненных воздухом в глиноземе (*а*), известняке (*б*) и суглинке (*в*)

Здесь показано, каким образом увеличение времени подачи воздуха в подповерхностный слой зависит от времени выпуска воздуха из почвы. Поры, заполненные водой, препятствуют прохождению воздуха наружу, и это приводит к увеличению времени разгрузки. Данные результаты ясно отражены в виде коэффициента корреляции *R* между:

— количеством пор во влажных зонах исследованных почв;

— временем сброса сжатого воздуха.

Значения коэффициента корреляции увеличивались и составили: *R* = 0,971 для глинозема, *R* = 0,963 для суглинка и *R* = 0,913 для известняка.

Графики (см. рис. 5) подтверждают полученные данные о том, что увеличение содержания в почве пор, заполненных воздухом (*Y*), достигается за счет уменьшения доли пор, заполненных водой. При этом время сброса сжатого воздуха (*x*) уменьшается по амплитуде в соответствии с соотношением [13]:

$$Y = a\ln(x) + b\,. \quad (8)$$

Здесь a, b — параметры, связанные с типом почвы. Для глинозема $a = –11{,}45$; $b = 71{,}578$. Для суглинка $a = –13{,}88$; $b = 73{,}561$. Для известняка $a = –77{,}436$; $b = 14{,}58$.

Выводы

1. Увеличению влажности способствует высокое содержание в грунте глины, что связано с адгезией частиц почвы, а также молекул воды в поверхностных слоях. С другой стороны, заполнение водой пустот между частицами глины позволяет значительно снизить сопротивление силы трения при воздействии конусной насадки пенетрометра на поверхность поля.

2. Как выяснилось в результате исследования, давление выше в подповерхностных слоях, что способствует их уплотнению и понижению пористости.

3. Выявлена зависимость между содержанием пор, заполненных воздухом, и воздухопроницаемостью. Выяснилось, что увеличение количества пор, заполненных воздухом, достигается за счет снижения числа пор, заполненных водой. При этом сброс сжатого воздуха уменьшается по амплитуде натурального логарифма, что может быть описано формулой.

Библиографический список

1. Bradford, J.-L. Penetrability / J.-L. Bradford // Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. — Madison : ASA ; SSSA, 1986. — P. 463–478.

2. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil / W.-J. Bussher [et al.] // Soil & Tillage Research. — 1997. — № 43. — P. 205–217.

3. Combination cone penetration resistance/water content instrumentation to evaluate cone penetration-water content relationships in tillage research / D.-R. Lapen [et al.] // Soil & Tillage Research. — 2003. — № 58. — P. 193–206.

4. Soil Penetrometer resistance and bulk density relationships after long-term no tillage / L. Vasquez [et al.] // Communications in Soil Science and Plant Analysis. — 1991. — № 22. — P. 2101–2117.

5. Hendersen, C. The effects of soil water content and bulk density on the compactibility of some western Australian sandy soils / C. Hendersen, A. Levett, D. Lisle // Australian Journal of Soil Research. — 1988. — № 26. — P. 391–400.

6. Salloum, W. Design of Penetrometer Cone for Measuring Soil Penetration Resistance and Determine Soil Porosity / W. Salloum, H. Bahlawan // Research Journal of Aleppo university. — 2009. — № 76. — P. 40–57. — (Engineering Science Series).

7. Methods of Soil Analysis / ed. A. L. Page ; American Society of Agronomy ; Soil Science Society of America. — Wisconsin : Madison, 1982. — 1143 p.

8. Hesse, P.-R. A text book of soil chemical analysis / P.-R. Hesse. — New York : Chemical publishing, 1971. — 520 p.

9. Jackson, M.-L. Soil Chemical analysis. An advanced course. 2nd ed. / M.-L. Jackson. — Wisconsin : Madison, 1969. — 895 p.

10. Шеин, Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шеин. — Москва : Изд-во Московского ун-та, 2005. — 432 с.

11. Антибас, И. Р. Исследование зависимости силы сопротивляемости проникновению и размеров пор некоторых видов почв методом сжатого воздуха при различных влажностях / И. Р. Антибас, А. Г. Дьяченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 8-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 18-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2015». — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 81–84.

12. Антибас, И. Р. Обоснование способа измерения силы сопротивления почвы проникновению / И. Р. Антибас, А. Г. Дьяченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : мат-лы 7-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2014». — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 67–70.

References

1. Bradford, J.-L. Penetrability. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Madison: ASA; SSSA, 1986, pp. 463–478.

2. Bussher, W.-J., et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil & Tillage Research, 1997, no. 43, pp. 205–217.

3. Lapen, D.-R., et al. Combination cone penetration resistance/water content instrumentation to evaluate cone penetration-water content relationships in tillage research. Soil & Tillage Research, 2003, no. 58, pp. 193–206.

4. Vasquez, L., et al. Soil Penetrometer resistance and bulk density relationships after long-term no tillage. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1991, no. 22, pp. 2101–2117.

5. Hendersen, C., Levett, A., Lisle, D. The effects of soil water content and bulk density on the compactibility of some western Australian sandy soils. Australian Journal of Soil Research, 1988, no. 26, pp. 391–400.

6. Salloum, W., Bahlawan, H. Design of Penetrometer Cone for Measuring Soil Penetration Resistance and Determine Soil Porosity. Research Journal of Aleppo University, 2009, no. 76, pp. 40–57 (Engineering Science Series).

7. Page, A.L., ed. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy; Soil Science Society of America. Wisconsin: Madison, 1982, 1143 p.

8. Hesse, P.-R. A text book of soil chemical analysis. New York: Chemical Publishing, 1971, 520 p.

9. Jackson, M.-L. Soil Chemical analysis. An advanced course. 2nd ed. Wisconsin: Madison, 1969, 895 p.

10. Shein, E.V. Kurs fiziki pochv. [Soil Physics Course.] Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2005, 432 p. (in Russian).

11. Antybas, I.R., Dyachenko, A.G. Issledovanie zavisimosti sily soprotivlyaemosti proniknoveniyu i razmerov por nekotorykh vidov pochv metodom szhatogo vozdukha pri razlichnykh vlazhnostyakh. [Study on dependence of penetration resistance force and pore sizes of some kinds of soil at different humidities by compressed air technique.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 8-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 18-y mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2015». [Current state and development trends of agricultural machinery: Proc. 8th Int. Sci.-Pract. Conf. within the framework of 18th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2015”.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 81–84 (in Russian).

12. Antybas, I.R., Dyachenko, A.G. Obosnovanie sposoba izmereniya sily soprotivleniya pochvy proniknoveniyu. [Substantiation of technique of measuring soil penetration resistance force.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 7-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 17-y mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2014». [Current state and development trends of agricultural machinery: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf. within the framework of 17th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2015”.] Rostov-on-Don, 2014, pp. 67–70 (in Russian).

Поступила в редакцию 10.03.2016
Сдана в редакцию 14.03.2016
Запланирована в номер 30.09.2016

Received 10.03.2016
Submitted 14.03.2016
Scheduled in the issue 30.09.2016